

Prólogo a la traducción de Complejidad, Resolución De Problemas Y Sociedades Sostenibles, de Joseph A. Tainter.

Viene a decir Tainter algo que está claramente en la mente y en el consciente de todas las personas que han vivido en sociedades muy primitivas y ven, mejor que los que estamos inmersos en la cultura de la sociedad industrial y tecnológica: que el avance industrial y tecnológico se hace a costa de aumentar una complejidad que al final tiene que pagar toda la sociedad.

El gráfico que muestra en la figura 4.1., sobre beneficios decrecientes frente al aumento de complejidad es para retener en la memoria y es tremendamente intuitivo. En toda sociedad, así como en toda actividad humana, lo que sucede es que al principio, se comienza aumentando la complejidad para aumentar los beneficios que proporciona y el objetivo se consigue en primera instancia.

Pero a medida que se avanza en complejidad, se empieza a ver que los beneficios son cada vez menores para mayores grados de aumento de la complejidad. Después se alcanza un punto en el que el aumento de la complejidad no merece la pena los beneficios que proporciona. En lenguaje popular, las gentes de pueblo denominan a esto “hacer un pan como una hostia” o “es peor el remedio que la enfermedad” y tienen claro que estas situaciones se dan siempre en nuestras sociedades. Y finalmente, el grado de complejidad a que obliga cada avance elemental es tan grande, que la sociedad se colapsa sin remedio.

En el análisis queda la duda de si serán o no evitables en el futuro, por la acción humana consciente y colectiva, o si estamos más predeterminados de lo que a veces creemos

Y el problema de aumentar la complejidad, que muchos ven como un avance voluntario, buscado y deseado, en realidad se descubre como lo que es: actos forzados en busca de la supervivencia, en un mundo en el que se van agotando las soluciones y hay que buscar resolver los problemas dando otra vuelta de tuerca a ese grado de complejidad. Es un camino sin retorno, con un carro que en realidad va delante de los bueyes.

Se ha traducido el concepto de “problem solving”, como resolución y no solución de los problemas, en atención a que se interpreta que el autor desea expresar el concepto, no tanto como el resultado de despejar una ecuación y obtener la solución matemática precisa, cuanto que es el afán por resolver situaciones problemáticas, lo que mueve a aumentar finalmente la complejidad. La terrible espiral, la entrada en un vórtice de problemas que crean más problemas.

Los ejemplos de la caída del Imperio Romano, tan estudiado por historiadores, antropólogos, biólogos, agrónomos o economistas, es una referencia digna de estudio. Los otros ejemplos tratados, el de la población y su crecimiento y el

advenimiento de la industrialización y el de la ciencia, son también paradigmáticos.

El estudio de Tainter ayuda a entender por qué la ciencia, o más bien sus adaptaciones tecnológicas y sus aplicaciones industriales, comienzan sirviendo a la sociedad en la que se desarrollan y terminan siendo parásitos sociales que exigen distraer de la sociedad más recursos de los que generan. Esto es perfectamente aplicable al mundo universitario actual, al de la investigación y el desarrollo y sobre todo, al denominado de la “innovación”. La propia forma de ir añadiendo siglas (primero la I, de investigación; luego la D, de desarrollo y finalmente, la segunda I, de Innovación) a los conceptos que otrora fueron considerados abanderados del progreso deseable, es el mejor indicio de cómo se van incorporando rémoras al cuerpo social, con excusas cada vez menos creíbles, de modernidad y avance, cuando en realidad son más bien parásitos en busca de recursos de la sociedad que dicen impulsar.

Tainter señala, aunque sólo sea de pasada, que los ejércitos modernos, son otro de los ejemplos de cómo afectan las crecientes complejidades a los “beneficios” que de ellas se esperan; en el caso de los ejércitos, la victoria en las batallas y la conquista permanente y efectiva de los objetivos. Este es un caso importante para analizar. Ya Vietnam supuso un revulsivo para los que creían que la superioridad tecnológica sería determinante para ganar la guerra. Irak puede terminar siendo otro buen ejemplo de cómo los costes de la misma pueden superar ampliamente los beneficios que se esperaban alcanzar y que eran, en principio, enormes. La gigantesca maquinaria que necesitan tener en pie, solo para mantener la presencia, que es tremendamente consumista en energía y en costes económicos, puede terminar siendo mayor que el petróleo que se esperaba obtener de la misma. Si eso es así durante un prolongado periodo de tiempo, la guerra estaría perdida y el nuevo Imperio podría muy bien terminar colapsando. Sería muy importante poder disponer de datos fiables sobre el consumo, económico y energético, que por todos los conceptos, implica la presencia del ejército estadounidense y el de sus cómplices en la invasión militar de varios países de Oriente Medio. Aunque sea el secreto mejor guardado de esta guerra. Porque conociendo estos gastos y sabiendo cuáles son los beneficios que les reportan, se podría verificar su rendimiento neto y si el mecanismo de la invasión y consiguiente ocupación resulta rentable o mejor dicho, sostenible a largo plazo.

Y finalmente, se tratan, aunque también de pasada, los asuntos de las energías renovables modernas (en concreto, la eólica y la solar para producción de electricidad), como casos particulares también afectados por los beneficios menguantes o decrecientes de todo proceso en el que la complejidad aumenta. Viene siendo frecuente en Crisis Energética y en todos los debates sobre energía, las discusiones sobre el papel de las energías renovables eólica y solar fotovoltaica, para dar el siguiente paso a la sustitución de los fósiles, a medida que éstos se vayan agotando.

En estas discusiones entra siempre en el debate el concepto de energía recuperada de la energía que se invierte para producirla; término que en inglés se ha acuñado como EROEI (Energy Return On Energy Invested), o la energía

neta que queda a disposición de los seres humanos después de descontar la energía que cuesta dejarla lista para su uso. Esto es, el cociente entre la energía obtenida y la gastada para obtenerla. Tainter apenas menciona el concepto, pero su ensayo está, todo él, imbuido de este concepto.

Obviamente, los combustibles fósiles también requieren tecnología y ciencia aplicada para ser utilizados y están sujetos, como no podía ser de otra forma, a los principios de los beneficios menguantes. Howard T. Odum asignó en 1996, en su obra "Contabilidad ambiental, emergencia y toma de decisiones" (Environmental Accounting, Emergy and Decision Making) al conjunto de la actividad petrolífera importada, un EROEI de entre 8,4 y 11,1, cuando entre los años 50 y 70 el EROEI lo calculó en 40. Un signo de decrecimiento o mengua de beneficios con el aumento de la complejidad. Otros analistas llegan a asignar al petróleo un EROEI superior a 100 para los descubrimientos de petróleo anteriores a los años 50 (las épocas de yacimientos de calidad muy accesibles), que descendieron a un EROEI de 30 hacia los años 70. Sea cual sea el EROEI final, está claro que con el paso de tiempo, el EROEI de petróleo disminuye considerablemente. Y que para casos particulares, tales como pozos o campos, el EROEI puede llegar a ser inferior a la unidad. Ese es el momento en que el pozo se cierra en cualquier caso. Ese es el momento del colapso; la complejidad de los procesos de extracción aumentan, el combustible que se extrae es de inferior calidad, etc., los beneficios, por tanto, disminuyen y cuando se rompe este equilibrio dinámico de un EROEI menor que la unidad, se deja de producir para siempre.

Los factores que inciden en la confección de un EROEI son tanto mayores cuanto más complejo es el sistema de obtención de un determinado tipo de energía, como es natural. Es por ello por lo que se discute vivamente sobre el verdadero EROEI de los diferentes tipos de energía. Pero el estudio de Tainter nos enseña la verdadera regla de oro de las posibilidades de los diferentes tipos de energías para ser sostenibles. Esta regla de oro nos dice que si el petróleo o el gas natural o el carbón tienen un creciente grado de complejidad que va haciendo disminuir sus rendimientos netos (sus EROEI's), a medida que se agotan, sus nuevos yacimientos van siendo más profundos, más alejados, más pequeños o de peor calidad, lo cierto es que las energías eólicas o solares fotovoltaicas tienen siempre, al menos, un grado más de dificultad que las de los fósiles, pues que dependen de ellos para su existencia.

Las renovables modernas, eólica y solar, son, por tanto, un escalón más de complejidad que los combustibles fósiles, en el famoso gráfico de la figura 4.1 del trabajo de Tainter. Y si hemos de creer que estamos en el momento descendente de la curva en esta sociedad, un escalón más en la complejidad, es un paso más hacia el patíbulo del colapso social. Hay que reconocer que los fósiles han sido sostenibles hasta hoy, con un incesante incremento de la complejidad y unos beneficios decrecientes. Puede que no sean sostenibles mañana. Pero ya es más de lo que podemos decir de las energías eólica y solar fotovoltaica. Estas necesitan todos y cada uno de los complejos mecanismos de nuestra moderna sociedad fósil para existir. La economía y la sociedad de los combustibles fósiles ya ha demostrado que funcionó, al menos durante un siglo. Está por ver si la economía de las energías eólicas y solar

puede vivir en un mundo en el que los empleados de esas fábricas vayan a trabajar desde sus casas en medios de transporte impulsados por combustibles líquidos, como el hidrógeno, extraídos de la electricidad que generan los propios sistemas que fabrican. Esta por ver si eso deja algún tipo de energía neta. Esta por ver si los camiones que transportan las materias primas y los productos manufacturados pueden funcionar con el mismo sistema. Si las máquinas que extraen las materias primas y minerales y metales de las minas, pueden hacerlo. Está por ver si los altos hornos que funden esos metales pueden funcionar con la misma fuente de energía no primaria. Si esas sofisticadas y complejas “fuentes” son, en realidad, una fuente o si no terminaremos constatando que eran un gran sumidero que algún día soñamos que podrían ser una fuente. Sabemos que los fósiles pudieron hacerse cargo del desarrollo en el último siglo sin la ayuda de las renovables, pero no sabemos si las renovables mencionadas podrán funcionar sin el constante apoyo de las fósiles del que ahora disfrutan. Un solo fallo en la cadena de las disponibilidades (por ejemplo, que los medios de transporte basados en hidrógeno no resulten rentables o no sean posibles) y se viene abajo todo el castillo de naipes de la sostenibilidad tecnológica y energética de las energía eólica y fotovoltaica. Incluso en el supuesto de que todos los miles de complejos procesos industriales y tecnológicos que exigen funcionen a la perfección (minería, fundiciones, actividades comerciales, mantenimiento, equipos de medida e instrumentación, comunicaciones, sistemas informáticos y bancarios, sistemas de policía y seguridad, alimentación, vivienda u ocio para los trabajadores de estos sectores, etc. etc.), que ahora funciona con combustibles fósiles y cuyas actividades son eslabones imprescindibles en la larguísima cadena que hace posibles las cosas. Un eslabón roto y el ancla de la sostenibilidad eólica y solar fotovoltaica se iría al fondo y la nave industrial y tecnológica se quedaría al más absoluto y lamentable de los pairo.

Lo veremos, seguramente más pronto que tarde. Mientras tanto, quédense con la figura 4.1 en mente y dejen de creer (o al menos sospechen de) que el aumento de la complejidad y la huída tecnológica hacia delante resolverán nuestros problemas. Está todo inventado. La única vía para evitar el colapso es sencilla de entender, aunque difícilísima de cumplir, según la historia: la simplicidad. Esperamos que este trabajo de Joseph A. Tainter ayude a muchos a reflexionar sobre el problema al que se enfrentan las energías alternativas o renovables modernas

Pedro A. Prieto. Agosto de 2004.

(Texto original en <http://www.dieoff.com/page134.htm>)

COMPLEJIDAD, RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SOCIEDADES SOSTENIBLES

Por Joseph A. Tainter, 1996

De **BAJANDO A TIERRA**: Aplicaciones prácticas de la economía ecológica,
(**GETTING DOWN TO EARTH**: Practical Applications of Ecological Economics)
Island Press, 1996; ISBN 1-55963-503-7
<http://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/1559635037>

Traducido por Pedro Prieto

RESUMEN

El conocimiento histórico para las aplicaciones prácticas de la economía ecológica es fundamental. Los sistemas de resolución de problemas suponen una mayor complejidad y costes mayores en largos periodos de tiempo. Con el tiempo, tales sistemas exigen un aumento de los subsidios energéticos o colapsan. Los ingresos decrecientes de la complejidad en la resolución de problemas, limitaron las capacidades de anteriores sociedades para responder de forma sostenible a los retos y conformarán las respuestas actuales al cambio global. Para enfrentarse a este dilema, tenemos que entender tanto el papel de la energía en la resolución de problemas, como nuestra posición histórica en los sistemas de creciente complejidad.

INTRODUCCIÓN

En nuestra búsqueda para entender la sostenibilidad, nos hemos afanado por comprender factores tales como las transformaciones energéticas, los límites biofísicos y el deterioro medioambiental, así como las características humanas que impulsan la producción y el consumo y los supuestos de la economía neoclásica. A medida que aumenta nuestro conocimiento de estos asuntos, van surgiendo las aplicaciones prácticas de la economía ecológica. Pero aún con estos avances, se pierde algo importante. Cualquier problema humano no es sino un momento de reacción a anteriores eventos y procesos. Los patrones históricos maduran a lo largo de generaciones e incluso siglos. Difícilmente la experiencia de una vida desvelará completamente las razones de un suceso o un proceso. Los niveles de empleo en la producción de recursos naturales, por ejemplo, pueden responder a un ciclo de inversiones de capital con un periodo de latencia de varias décadas (Watt 1992). Los factores que hacen que las sociedades se colapsen, tardan siglos (Tainter 1988). Para llevar a cabo las políticas actuales y futuras necesitamos entender los procesos sociales y económicos en sus escalas de tiempo y comprender dónde nos encontramos dentro de un patrón histórico. El conocimiento histórico es fundamental para la

sostenibilidad (Tainter 1995^a). Ningún programa para mejorar la sostenibilidad podrá considerarse práctico, si no incorpora ese conocimiento fundamental.

En esta era de cambios medioambientales globales, nos enfrentamos a lo que puede ser la mayor crisis de la Humanidad. El conjunto de las transformaciones mencionadas como cambio global, dejan en pañales a todas las anteriores experiencias en cuanto a velocidad, el ámbito geográfico de sus consecuencias y el número de personas que se verán afectadas (Norgaard 1994). De todas formas, muchas veces en el pasado las poblaciones humanas se han enfrentado a unos retos extraordinarios y la diferencia entre sus problemas y los nuestros es sólo de orden de magnitud. Se podría esperar que una sociedad que resuelva sus problemas de forma racional, deberíamos procurar entender de forma apremiante las experiencias históricas. En la actualidad, nuestros modelos de educación y nuestra impaciencia por la innovación, nos han hecho refractarios al conocimiento histórico (Tainter, 1995a). En su ignorancia, los políticos tienden a ver las causas de los sucesos sólo en el pasado reciente (Watt 1992). Como resultado de ello, aunque disponemos de mayores oportunidades para entender las razones de largo plazo de nuestros problemas, que cualquier grupo humano anterior, esas oportunidades pasan generalmente desapercibidas. No sólo no sabemos donde nos encontramos en la historia, sino que la mayoría de nuestros conciudadanos y políticos no son lo conscientes que debieran.

Una limitación recurrente a la que se enfrentaron las anteriores sociedades, ha sido la complejidad en la resolución de problemas. Es una limitación que pasa generalmente desapercibida en los análisis económicos contemporáneos. En los últimos 12.000 años, las sociedades humanas parecen haberse desarrollado, de forma casi inexorable, hacia una mayor complejidad. La mayor parte de ellos han tenido éxito: la complejidad ofrece ventajas y una de las razones para nuestro éxito como especie, ha sido nuestra habilidad para “aumentar rápidamente la complejidad de nuestro comportamiento” (Tainter 1992, 1995b). Pero la complejidad puede ser también dañina para la sostenibilidad. Puesto que la forma de resolver nuestros problemas ha sido la de desarrollar la sociedad y la economía más compleja de la historia humana, es importante entender el precio que tuvieron que pagar las sociedades anteriores cuando siguieron estrategias similares. En este capítulo discutiré los factores que causaron el que las sociedades anteriores entrasen en colapso, los principios económicos de la complejidad en la resolución de problemas y algunas implicaciones de los patrones históricos en nuestros esfuerzos por resolver los problemas actuales. Esta discusión señala que parte de nuestra respuesta al cambio global, tiene que ser la de entender la evolución a largo plazo de los sistemas de resolución de problemas.

EL DESARROLLO DE LA COMPLEJIDAD SOCIOECONÓMICA

La complejidad es un concepto clave en este ensayo. En un estudio anterior, la calificué de la siguiente forma:

La complejidad se entiende generalmente para referirse a cosas tales como el tamaño de una sociedad, el número y clases

distintas de las partes que la componen, la variedad de los roles especializados que incorpora, el número de las distintas personalidades presentes y la variedad de los mecanismos para organizar todo ello en un todo coherente y funcional. Al aumentar cualquiera de esas dimensiones, aumenta la complejidad de la sociedad. Las sociedades de cazadores recolectores (como forma de ilustrar el contraste con la complejidad) no poseían más de unas pocas docenas de personalidades sociales diferentes, mientras los modernos censos europeos reconocen entre 10.000 y 20.000 distintos roles de ocupación y las sociedades industriales pueden tener, en conjunto, más de un millón de tipos diferentes de personalidades sociales (McGuire 1983; Tainter 1998) 1

Para ilustrar una diferencia sencilla en complejidad, Julian Steward señaló el contraste entre los nativos de Norteamérica, entre los cuales los primeros etnógrafos documentaron entre 3.000 y 6.000 elementos culturales y el ejército de los EE.UU., que colocó en Casablanca, en la Segunda Guerra Mundial más de 500.000 tipos de artefactos (Steward 1955). La complejidad es cuantificable.

Más del 99% de la historia de la humanidad hemos vivido como recolectores de baja densidad o granjeros en comunidades igualitarias de no más de unas pocas docenas de personas (Carneiro 1978). Leslie White señaló que en tales sistemas culturales, que se basaban principalmente en el trabajo humano, sólo se podía generar alrededor de 1/20 de caballo de vapor (de potencia) per capita al año (White 1949, 1959). Desde esta base de sociedades no diferenciadas que requerían pequeñas cantidades de energía, el desarrollo de sistemas culturales complejos era, a priori, bastante poco probable. La idea convencional ha sido la de que las sociedades humanas tienen una tendencia latente hacia una mayor complejidad. Se suponía que la complejidad era algo deseable y el resultado lógico de un exceso de alimentos, de tiempo libre y creatividad humana. Aunque este escenario es popular, no resulta adecuado para explicar la evolución de la complejidad. En un mundo de complejidad cultural no hay, por decirlo de una forma coloquial, nada gratis. Las sociedades complejas son más costosas de mantener que las sencillas y exigen mayores niveles de apoyo per capita. Una sociedad más compleja, tiene más subgrupos y roles sociales, más redes entre grupos e individuos, más controles horizontales y verticales, un mayor flujo de información, mayor centralización de la información, más especialización y una mayor interdependencia entre las partes.

El aumento de cualquiera de estas dimensiones exige energía biológica, mecánica o química. En los días previos al subsidio de los combustibles fósiles, el aumento de la complejidad de una sociedad significaba, generalmente, que la mayoría de su población tenía que trabajar más (Tainter 1988, 1992, 1994^a, 1995a, 1995b).

Hay muchos aspectos del comportamiento humano que parecen tener aversión a la complejidad (Tainter 1995b). La denominada “complejidad de la vida moderna” es un lugar común del discurso popular. Parte de descontento

público con los gobiernos parte del hecho de que el gobierno añade complejidad a la vida de las personas. En ciencia, el principio de la navaja de Occam sigue teniendo atractivo, porque establece que la simplicidad es preferible a la complejidad en las explicaciones.

La complejidad ha estado siempre inhibida por la carga de tiempo y energía que impone y por la repugnancia a la complejidad (que está sin duda relacionada con el costo). Por tanto, explicar por qué las sociedades humanas se van haciendo cada vez más complejas supone un reto mayor que el que generalmente se cree. La razón de por qué la complejidad aumenta es porque, la mayor parte de las veces funciona. La complejidad es una estrategia para la resolución de problemas que surge en condiciones de obligada necesidad o de un beneficio percibido. A lo largo de la historia, las tensiones y los retos a los que se han enfrentado las poblaciones humanas, se han resuelto frecuentemente al hacerse más complejas. Aunque no es posible hacer aquí una revisión completa, esta tendencia es evidente en los siguientes campos:

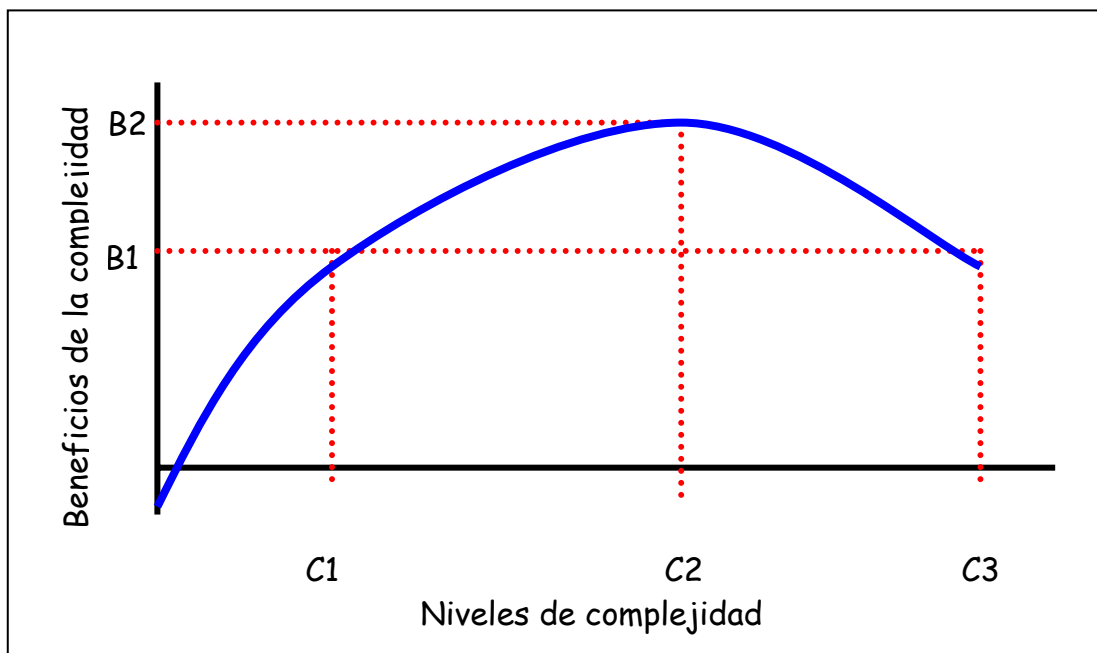
1. Recolección y agricultura (Boserup 1965; Clark and Haswell 1966-1 Asch et al. 1972; Wilkinson 1973; Cohen 1977; Minnis 1995; Nelson 1995)
2. Tecnología (Wilkinson 1973; Nelson 1995)
3. Competición, guerra y carrera de armamentos (Parker 1988; Tainter 1992)
4. Control sociopolítico y especialización (Olson 1982; Tainter 1988) e
5. Investigación y Desarrollo (Price 1963; Rescher 1978, 1980; Rostow 1980; Tainter 1988, 1995a)

En cada una de estas áreas la complejidad aumenta mediante una mayor diferenciación, la especialización y la integración.

El desarrollo de la complejidad es, por tanto, un proceso económico: la complejidad implica costes y proporciona beneficios. Es una inversión y proporciona un retorno variable. La complejidad puede ser tanto beneficiosa como perjudicial. Su potencial destructivo es evidente en casos históricos en los que el aumento de gastos de la complejidad socioeconómica llega a ofrecer beneficios decrecientes y finalmente, en algunos casos, retornos negativos (Tainter 1998, 1994b). Este resultado surge del proceso económico normal: las soluciones sencillas y baratas se adoptan antes que las más complejas y caras. Así, a medida que las poblaciones humanas han ido aumentando, la caza y la recolección ha dado paso a una agricultura crecientemente intensiva y a la producción de alimentos industrializada que consume más energía que la que produce (Clark and Hasewall 1966; Cohen 1977; may et al, 1992) La producción de minerales y energía se ha movido, de forma consistente, desde las reservas fácilmente accesibles y de explotación barata a las que son más costosas de extraer, de extraer, de procesar y de distribuir.

La organización socioeconómica ha evolucionado desde la reciprocidad igualitaria, el liderazgo de corto plazo y las reglas generales a complejas jerarquías con una creciente especialización.

El gráfico de la figura 4.1. se basa en estos argumentos. Según la sociedad crece en complejidad, expande sus inversiones en cosas tales como la producción de recursos, el procesamiento de la información, la administración y la defensa. La curva de beneficio/coste para esos gastos puede aumentar, de forma favorable, en un principio, según se adoptan las soluciones más sencillas y económicas (una fase que no se muestra en este gráfico). Pero a medida que la sociedad va encontrando nuevas tensiones y las soluciones baratas no son suficientes, su evolución procede en una dirección más costosa. Finalmente, una sociedad en crecimiento alcanza un punto en el que las continuas inversiones en complejidad obtienen mayores dividendos, pero con un porcentaje marginal decreciente. En puntos como el B1 ó C1 de este gráfico, una sociedad ha entrado en la fase en la que comienza a ser vulnerable al colapso. [2]



(después de Tainter 1988).

En este extremo, dos cosas hacen a una sociedad ser propensa al colapso. Las primeras nuevas emergencias afectan a las personas que están invirtiendo en una estrategia que rinde menos y menos beneficios marginales. Según esa sociedad se debilita económicamente, tiene menos reservas con las que enfrentar las grandes adversidades. Una crisis a la que esa sociedad podría haber sobrevivido al principio, se convierte ahora en insuperable.

Segundo, los beneficios decrecientes hacen la complejidad menos atractiva y alimentan el descontento. A medida que aumentan los impuestos y otros costes y hay menos beneficios a nivel local, más y más personas se ven atraídas por la idea de hacerse independientes. La sociedad se “descompone” en cuanto las personas procuran satisfacer sus necesidades inmediatas, antes que los objetivos a largo plazo de sus líderes. [3]

Según evoluciona esta sociedad a lo largo de la curva de beneficios decrecientes más allá de B2, C2, cruza una línea de puntos tales como B1, C3

en los que los costes van aumentando, pero los beneficios realmente han caído a aquellos niveles anteriormente disponibles a un menor nivel de complejidad. Es el ámbito de los retornos negativos a las inversiones en complejidad. Una sociedad descubrirá, en este punto, que cercanos al colapso sus retornos sobre las inversiones aumentarán de forma sensible la complejidad. Una sociedad es, en estas condiciones, extremadamente vulnerable al colapso.

Este razonamiento, ha sido desarrollado y probado para explicar por qué las sociedades se colapsan (Tainter 1988) y es también un registro de las tendencias históricas, en la economía de la resolución de problemas. LA historia de la complejidad cultural es la historia de la resolución de los problemas humanos. En muchos sectores inversores, tales como la producción de recursos, la tecnología, la competición, la organización política y la investigación, la complejidad aumenta como una necesidad continua para resolver los problemas. Dado que las soluciones más sencillas ya están agotadas, la resolución de problemas se mueve inexorablemente hacia una mayor complejidad, mayores costes y beneficios decrecientes. Esto no necesariamente lleva al colapso, pero es importante entender las condiciones bajo las cuales puede darse. Para ilustrar esas condiciones, es útil revisar tres ejemplos de aumento de la complejidad y alto precio de la resolución de problemas: el colapso del Imperio Romano, el desarrollo del industrialismo y las tendencias de la ciencia contemporánea.

El colapso del Imperio Romano

Una de las consecuencias de los beneficios decrecientes de la complejidad, se verifica con la caída del Imperio Romano de Occidente. Como una sociedad basada en la energía solar con altos impuestos, el imperio poseía pocas reservas fiscales. Cuando se tuvo que enfrentar a crisis militares, los emperadores romanos tuvieron que responder degradando las monedas de plata (figura 4.2.) e intentando obtener nuevos ingresos. En el tercer siglo d.C., las constantes crisis forzaron a los emperadores a duplicar el tamaño del ejército y a aumentar también el tamaño y la complejidad del gobierno. Para pagar esto, se produjeron cantidades masivas de monedas sin valor, se requisaron los suministros a los campesinos y el nivel de impuestos se hizo todavía más opresivo (hasta dos tercios del rendimiento neto después de pagos de la renta) La inflación devastó a la economía. Se examinaron las tierras y las poblaciones por todo el imperio y se valoraron de cara a los impuestos. Se hizo responsables a las comunidades de los impagos. Mientras los campesinos quedaban hambreados o tenían que vender a sus hijos como esclavos, se construían fortificaciones gigantescas, se dobló el tamaño de la burocracia, la administración se hizo más compleja se pagaron grandes subsidios en oro a las tribus germánicas y se establecieron nuevas ciudades y cortes. Con unos impuestos en aumento, las tierras marginales quedaron abandonadas y la población disminuyó. Los campesinos no podían mantener grandes familias. Para evitar esas obligaciones cívicas tan opresivas, los ricos se fueron de las ciudades a establecerse en propiedades rurales autosuficientes. Finalmente, para escapar a los impuestos, los campesinos entraron voluntariamente en relaciones feudales con esos propietarios de tierras. Unas pocas familias ricas dispusieron de tantas tierras en el imperio

occidental que se sintieron capaces de desafiar al gobierno imperial. El imperio tuvo que mantenerse a base de consumir sus recursos de capital; las tierras productivas y la población campesina (Jones 1964, 1974; Wickham 1984; Tainter 1988, 1994b) El Imperio Romano proporciona el ejemplo mejor documentado de la historia de cómo el aumento de complejidad para resolver problemas, conlleva mayores costes, beneficios decrecientes, la pérdida del apoyo de la población, la debilidad económica y el colapso. Al final no pudo resolver por más tiempo los problemas de su propia existencia.

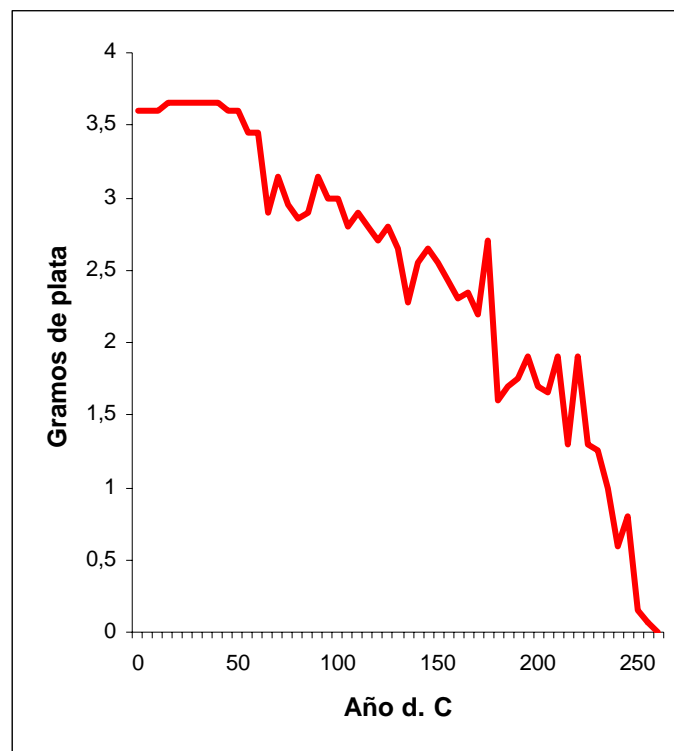


Figura 4.2. Degradación de la moneda de plata romana, 0-269 d.C. (después de Tainter 1994b con modificaciones) El gráfico muestra los gramos de plata por denario (la moneda básica de plata) del 0 al 237 d.C. y por el medio denario de 238 a 269 d.C. (cuando el denario fue reemplazado por una moneda más grande valorada en dos denarios)

Población, recursos e industrialismo

El destino del Imperio Romano no es el destino inevitable de las sociedades complejas. Es útil discutir un caso que resultó de forma bastante diferente. En uno de los trabajos más interesantes de historia económica, Richard Wilkinson (1973) mostró que en la Inglaterra del final de la era medieval y posterior a ello, el crecimiento de la población y la deforestación estimularon el desarrollo económico y fueron, al menos parcialmente, responsables de la Revolución Industrial. Los grandes aumentos de población alrededor de 1300, 1600 y a finales del siglo XVIII, condujeron a la intensificación de la agricultura y la industria. Según se talaban bosques para obtener tierras de cultivo y combustible para esa creciente población, los sistemas de calefacción, cocinado y las necesidades de fabricación no podían satisfacerse simplemente

quemando madera. El carbón comenzó a ser crecientemente importante, aunque fue adoptado a regañadientes. El carbón era más costoso de obtener y de distribuir que la madera y sus yacimientos estaban en lugares limitados. Exigían un nuevo y costoso sistema de distribución. A medida que el carbón ganó en importancia en la economía, los yacimientos más accesibles se agotaron. Se tuvieron que excavar minas cada vez más profundas, hasta que el agua subterránea se convirtió en un problema. Finalmente, se desarrolló la máquina de vapor, que se utilizó para bombear el agua de las minas. Con el desarrollo de una economía basada en el carbón, un sistema de distribución y la máquina de vapor, se pusieron en marcha algunos de los más importantes elementos técnicos de la Revolución Industrial. El industrialismo, ese gran generador de bienestar económico, llegó en parte de los pasos (tomados) para contrarrestar las consecuencias del agotamiento de los recursos, que se supone son un generador de pobreza y (que propician el) colapso. Pero era un sistema de creciente complejidad que no tardó en mostrar los beneficios decrecientes en algunos sectores. Volveremos sobre este punto más tarde.

La ciencia y la resolución de problemas

La ciencia contemporánea es el mayor ejercicio humano para la resolución de problemas. La ciencia es un aspecto institucional de la sociedad y la investigación es una actividad de la que nos gusta creer que ofrece grandes beneficios. Como el conocimiento generalizado se establece al comienzo de la historia de una determinada disciplina, el trabajo que queda por hacer se va especializando más y más. Esos tipos de problemas tienden a ser crecientemente costosos y (cada vez) más difíciles de resolver y, en promedio, el avance del conocimiento se da en pequeños incrementos (Rescher 1978, 1980; Tainter 1988). Las inversiones crecientes en investigación producen beneficios marginales en declive.

Algunos notables eruditos han tratado estos asuntos. Walter Rostow, dijo una vez que la productividad marginal crece primero y después cae en campos concretos (1980). El gran físico Max Planck, en una declaración que Rescher denomina “El principio de Planck de Esfuerzo Creciente”, observó que “...con cada avance (de la ciencia), aumenta la dificultad de las tareas” (Rescher 1980).

A medida que se resuelven los asuntos más fáciles, la ciencia se mueve inevitablemente a áreas de investigación más complejas y a organizaciones mayores y más costosas (Rescher 1980)

Rescher sugiere que “A medida que la ciencia progresa en cualquiera de sus ramas especializadas, hay un marcado aumento en el coste global de los recursos para realizar los descubrimientos científicos de un determinado nivel de una significación intrínseca...” (1978). Se necesita un crecimiento exponencial del tamaño y el elevado coste de la ciencia, simplemente para mantener una tasa de progreso constante (Rescher 1980). Derek de Solla Price señaló que en 1963 la ciencia estaba, incluso en aquel entonces, creciendo más que la población o la economía y que, de todos los científicos que jamás hubieran vivido, el 80 ó 90% estaban vivos en el momento en que escribía

(Price 1963) En ese mismo momento, esos asuntos empujaron a Dael Wolfle a publicar una pregunta en *Science*, titulada “¿Cuánta investigación por un dólar?” (Wolfle 1960)

Los científicos raras veces piensan en la relación entre beneficio y coste a la hora de invertir en sus investigaciones. Incluso si valoramos la productividad de nuestras inversiones en ciencia por algún método, como la publicación de patentes (figura 4.3.) la productividad de ciertos tipos de investigación parece estar en declive. Las patentes son un indicador controvertido entre aquellos que estudian estos asuntos (Machlup 1962; Schmookler 1966; Griliches 1984) y no indican, por sí mismas la recuperación económica de los gastos. La medicina es un campo de la ciencia aplicada en el que la recuperación de las inversiones se puede determinar con mayor rapidez. En el periodo de 52 años que se muestra en la figura 4.4., desde 1930 a 1982, la productividad del sistema de salud de los EE.UU. para mejorar la esperanza de vida, cayó cerca de un 60%

La decreciente productividad del sistema de salud de los Estados Unidos muestra con claridad el desarrollo histórico en el ámbito de la resolución de problemas. Rescher (1980) señala: Una vez que han tenido lugar todos los descubrimientos de un determinado nivel de la tecnología de investigación, hay que moverse a niveles de mayor coste... En ciencias naturales, estamos metidos en una carrera armamentística: con cada victoria sobre la naturaleza, aumenta la dificultad para alcanzar los nuevos hitos que hay por delante.

La productividad menguante de la medicina se debe al hecho de que se vencieron primero las enfermedades y los achaques simples (la investigación básica que condujo a la penicilina, no costó más allá de 20.000 US\$), de forma que las que permanecen son más difíciles y costosas de resolver (Rescher 1978). Y cada vez que se vence a una enfermedad crecientemente más costosa, el aumento del promedio de la esperanza de vida se hace cada vez menor.

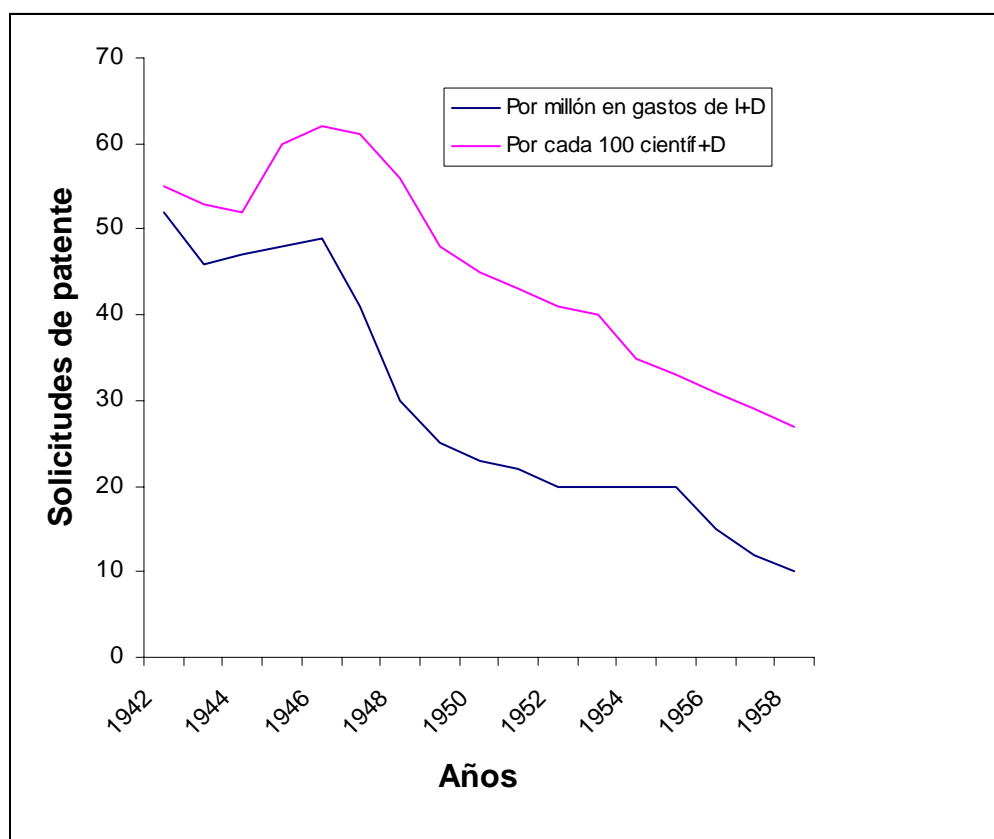


Figura 4.3. Solicitudes de patentes con respecto a los gastos de investigación, 1942-1958 (datos de Machlup 1962)

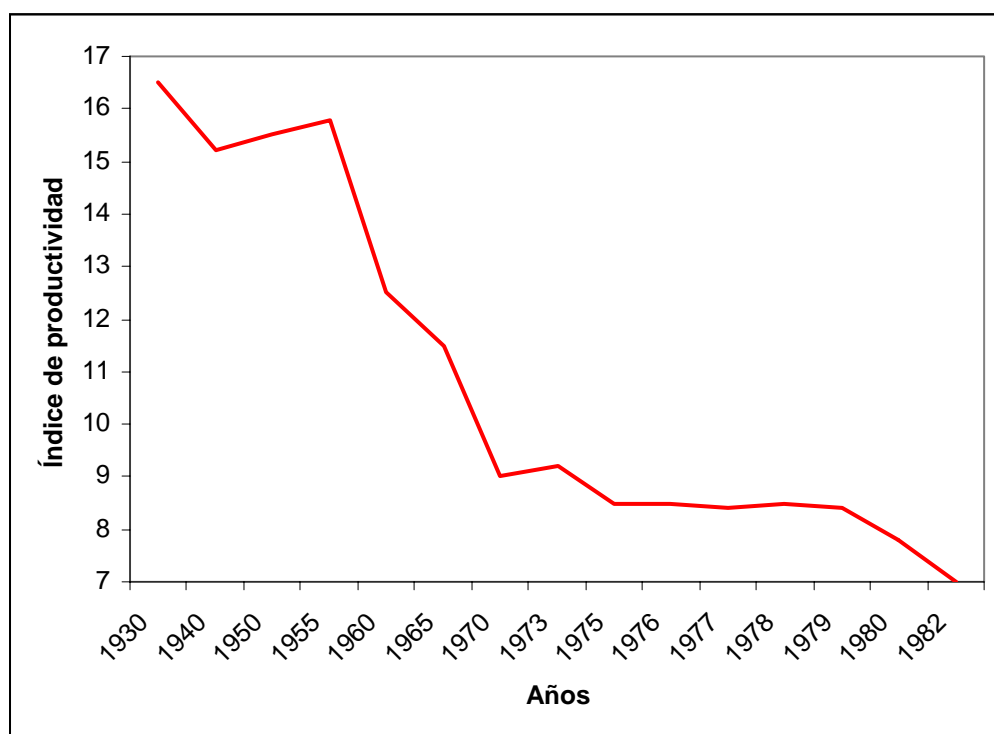


Figura 4.4. Productividad del sistema de salud de los EE.UU. 1930-1982 (datos de Worthington 1975; de la Oficina del Censo de los EE.UU. 1983)

Índice de productividad = (Esperanza de vida)/(Gastos nacionales en salud, como porcentaje del PIB).

Implicaciones de los ejemplos

El Imperio Romano, el industrialismo y la ciencia no sólo son importantes por sus propios méritos, sino también porque ejemplifican: (1) como evoluciona la resolución de problemas por el camino de la creciente complejidad, los mayores costos y las menguantes recuperaciones (de inversiones) marginales (Tainter 1988), y (2) los diferentes resultados de esos procesos. En la siguiente sección, trataré lo que implican esos patrones para nuestros esfuerzos con los que nos enfrentamos a los problemas contemporáneos.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS, ENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD

Esta discusión histórica da una perspectiva sobre lo que resulta práctico y sostenible. Hace pocos años describí una docena de sociedades que habían llegado al colapso (Tainter 1988). En ningún caso es evidente o ni siquiera probable que esas sociedades llegasen al colapso, porque sus miembros o sus dirigentes no dieran los pasos concretos para resolver sus problemas (Tainter 1988). La experiencia del Imperio Romano es de nuevo instructiva al respecto. La mayoría de las acciones que tomó el gobierno romano en respuesta a crisis como la de degradar la moneda, elevar los impuestos, ampliar el ejército y los reclutamientos forzosos de mano de obra, fueron soluciones prácticas a los problemas inmediatos. Hubiera sido impensable no adoptar tales medidas. Sin embargo, de forma acumulativa esos pasos debilitaron aún más al imperio, a medida que las reservas de capital (la tierra agrícola y los campesinos) se agotaban con los impuestos y los reclutamientos. A través del tiempo, las invenciones de soluciones prácticas, llevaron al Imperio Romano primero a recuperaciones menguantes y luego a pérdidas por la complejidad. Lo que implica es que centrarse en un sistema de resolución de problemas, tales como la economía ecológica, con aplicaciones prácticas, no proporciona automáticamente un mayor valor a la sociedad, ni mejora la sostenibilidad. El desarrollo histórico de los sistemas de resolución de problemas debe ser entendido y tomado en consideración.

La mayoría de los que estudian asuntos contemporáneos estarían seguramente de acuerdo en que la resolución de los problemas medioambientales y económicos exige conocimientos y educación. Una gran parte de nuestra respuesta a los problemas actuales ha sido la de aumentar el nivel de investigación en aspectos medioambientales, incluyendo el cambio global. Según aumenta nuestro conocimiento y surgen las soluciones prácticas, los gobiernos llevarán a cabo las soluciones y las burocracias que se encarguen de ellos. Se desarrollarán nuevas tecnologías. Cada uno de esos pasos aparecerá como una solución práctica a un problema específico. Pero de forma acumulada, esas medidas prácticas para la resolución de problemas traerán una mayor complejidad, mayores costos y beneficios menguantes. Richard Norgaard ha centrado bien el problema: “Asegurar la sostenibilidad aumentando los objetivos ... exigirá una mayor recopilación, interpretación,

planificación, toma de decisiones políticas y control burocrático de los datos, en varios órdenes de magnitud.” (Norgaard 1994)

Donella Meadows y sus colegas han ofrecido ejemplos excelentes de las limitaciones económicas de las resoluciones de problemas actuales. Para aumentar la producción de alimentos de 1951 a 1966 en un 34%, por ejemplo, se tuvieron que aumentar los gastos en tractores en un 63%, de los fertilizantes nitrogenados en un 146% y de los pesticidas en un 300%. Retirar todos los desechos orgánicos de una planta de procesamiento de azúcar, cuesta 100 veces más que retirar el 30% Reducir el dióxido de azufre del aire en una ciudad estadounidense en 9,6 veces o las partículas en 3,1 veces, eleva el coste del control de la contaminación 520 veces (Meadows et al. 1972) Toda resolución de problemas medioambiental se enfrenta a límites de este tipo.

La regulación burocrática genera por sí misma mayor complejidad y costos. Al establecer regulaciones e impuestos, los que están regulados o tasados observan resquicios (por donde evadirse) y los legisladores se afanan por cerrarlos. Se establece, entonces, una espiral de descubrimiento de resquicios y cierre de los mismos, de una complejidad constantemente creciente (Olson 1982). En el momento en que el costo del gobierno deja de tener apoyo político, la estrategia se hace insostenible. En ese momento, se sugiere con frecuencia que se debería alcanzar un comportamiento medioambiental benigno mediante incentivos fiscales, más que a través de regulaciones. Aunque esta idea tiene algunas ventajas, no considera el problema de la complejidad y puede no reducir los costes regulatorios tanto como se esperaba. Puede que esos costes simplemente se trasladen a las autoridades fiscales y por ende, a la sociedad en general.

No es que la investigación, la educación, la regulación y las nuevas tecnologías no puedan aliviar potencialmente nuestros problemas. Con suficiente inversión quizá sí puedan hacerlo. La dificultad es que esas inversiones serán costosas y pueden exigir un porcentaje creciente del PIB. Con una resolución de problemas de beneficios menguantes, tratar los asuntos medioambientales de una forma convencional, significa que se tendrán que destinar más recursos a la ciencia, la ingeniería y el gobierno. En ausencia de un gran crecimiento económico, esto exigiría, al menos, un declive temporal del nivel de vida, ya que la población dispondría, comparativamente, de menos para gastar en alimentos, hogar, vestidos, atención médica, transporte y ocio.

Para evitar el alto costo de la resolución de problemas, se sugiere frecuentemente que se utilicen los recursos de forma más eficiente e inteligente. Timothy Allen y Thomas Hoekstra, por ejemplo, han sugerido que para gestionar la sostenibilidad de los ecosistemas, los responsables deberían identificar lo que falta de los procesos regulatorios naturales y sólo proporcionar eso. El ecosistema haría el resto. Dejar que el ecosistema (por ejemplo, la energía solar) subsidie el esfuerzo de gestión y no al revés. Al mismo tiempo, poner esto en marcha, exigiría un conocimiento que ahora no poseemos. Eso significa que se necesita una investigación que es compleja y costosa y requiere subsidios de los combustibles fósiles. Reducir los costos de la complejidad por una parte, conduce a aumentarlos por otra.

El control agrícola de las plagas ilustra este dilema. A medida que la fumigación de pesticidas exigía mayores costos y rendía menores beneficios, se desarrolló la gestión integrada de plagas. Este sistema descansa en el conocimiento biológico para reducir la necesidad de productos químicos y emplea la supervisión de las poblaciones de plagas, utiliza controles biológicos, una juiciosa aplicación de los productos químicos y una cuidadosa selección de los tipos de cultivos y de las fechas de plantación (Norgaard 1994). Es una solución que exige tanto una investigación esotérica por parte de los científicos, como una cuidadosa supervisión de los agricultores. La gestión integrada de las plagas viola el principio de la aversión a la complejidad, lo que puede explicar en parte por qué no se utiliza más ampliamente.

Estos asuntos ayudan a clarificar los que constituye una sociedad sostenible. El hecho de que los sistemas de resolución de problemas parezcan evolucionar hacia una mayor complejidad, mayores costos y beneficios decrecientes tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad. Con el tiempo, los sistemas que se desarrollan de esta forma o bien se quedan sin financiación, o no pueden solucionar los problemas, colapsan o terminan necesitando grandes subsidios energéticos. Este ha sido el patrón histórico en casos tales como los del Imperio Romano, los Mayas Clásicos de las tierras bajas, la sociedad Chaco del Sudoeste estadounidense, las guerras en la Europa medieval y del Renacimiento y en algunos aspectos de la resolución contemporánea de problemas (esto es, en cualquier caso que haya investigado con detalle) (Tainter 1988, 1992, 1994b, 1995a). Esos patrones históricos sugieren que una de las características de una sociedad sostenible será que dispone de un sistema sostenible de resolución de problemas, con beneficios en aumento o estables, o con beneficios menguantes que pueden ser financiados con subsidios energéticos que tengan un suministro, un costo y una calidad aseguradas.

El industrialismo muestra este punto. Generó sus propios problemas de complejidad y elevado costo. Incluyeron los ferrocarriles y canales para distribuir el carbón y los bienes manufacturados, el desarrollo de una economía basada cada vez más en el dinero y los salarios y el desarrollo de nuevas tecnologías. Aunque se piensa que tales elementos de complejidad son para facilitar el crecimiento, en realidad lo hacen solamente cuando están subsidiados por la energía. Algunas de las tecnologías, como la de la máquina de vapor, mostraron beneficios menguantes desde muy al principio de su desarrollo (Wilkinson 1973; Giarini y Louberge 1978; Giarini 1984). Lo que distingue al industrialismo de toda la historia previa de nuestras especies, fue su excesiva dependencia de energía abundante, concentrada y de alta calidad (May et al. 1992). [5] Con los subsidios de los baratos combustibles fósiles, muchas de las consecuencias del industrialismo no importaron efectivamente durante mucho tiempo. Las sociedades industriales se las podían permitir. Cuando los costos de la energía se cumplían con facilidad y sin dolor, la relación beneficio a costo de las inversiones sociales se puede básicamente ignorar (como sucede con la agricultura industrial contemporánea). Los combustibles fósiles hicieron el industrialismo y todo lo que fluyó de él (como la ciencia, el transporte, la medicina, el empleo, el consumismo, las guerras de

alta tecnología y las organizaciones políticas contemporáneas), un sistema de resolución de problemas que fue sostenible durante varias generaciones.

La energía siempre ha sido la base de la complejidad cultural y siempre lo será. En nuestros esfuerzos por entender y resolver cuestiones como las del cambio global, implican una creciente complejidad política, tecnológica, económica y científica, parece que la disponibilidad de energía per capita será un factor limitante. Para aumentar la complejidad sobre la base de unos suministros energéticos planos o menguantes implicará la disminución de los niveles de vida en todo el mundo. En ausencia de una crisis clara, muy pocas personas apoyarían este argumento. Para mantener el apoyo político a nuestras inversiones actuales y futuras en complejidad, se requiere un aumento en los suministros de energía per capita efectivos, tanto mediante el aumento físico de la disponibilidad de energía, o mediante innovaciones técnicas, políticas o económicas que reduzcan los costes energéticos de nuestro nivel de vida. Desde luego, descubrir estas innovaciones exige energía, lo que subraya las limitaciones de la relación entre energía y complejidad.

CONCLUSIONES

Este capítulo del pasado clarifica las vías potenciales hacia el futuro. Un camino frecuentemente discutido es la simplicidad cultural y económica y unos menores costos energéticos. Esto podría llegar por medio del “crash” que muchos temen sea un verdadero colapso en el lapso de una o dos generaciones, con mucha violencia, hambre y pérdida de población. La alternativa es el “aterrizaje suave”, que mucha gente espera se produzca como un cambio voluntario a la energía solar y a los combustibles verdes, a las tecnologías para la conservación de la energía y menos consumo en general. Esta es una utopía alternativa que, como antes se ha sugerido, sólo llegará tras severas y prolongadas privaciones de las naciones industriales que la hagan atractiva y si el crecimiento económico y el consumismo se pueden hacer desaparecer del campo ideológico.

La opción más probable es un futuro de mayores inversiones en la resolución de problemas, el aumento de la complejidad general y un mayor uso de energía. Esta opción está dirigida por el confort material que proporciona, los intereses ocultos, la falta de alternativas y por nuestra convicción de que es buena. Si la trayectoria que la humanidad ha seguido para la resolución de problemas en los últimos 12.000 años tuviese que continuar, éste es el camino que posiblemente tomaremos en un futuro cercano.

Independientemente de nuestros esfuerzos por entender y resolver los problemas actuales de los beneficios menguantes, una cuestión debería quedar clara. Es esencial saber dónde estamos en la historia (Tainter 1985a). Si los patrones macroeconómicos se desarrollan en periodos de generaciones o siglos, no es posible comprender nuestras condiciones actuales a menos que entendamos en qué parte estamos de este proceso. Tenemos la oportunidad de llegar a ser las primeras personas en la historia que entiendan cómo cambia la capacidad de resolver los problemas de una sociedad. Saber que esto es

posible y no actuar en consecuencia, sería un gran fallo de la aplicación práctica de la economía ecológica.

RECONOCIMIENTOS

Este capítulo se ha revisado para su presentación en el plenario de la Tercera Reunión Internacional de la Sociedad Internacional para la Economía Ecológica (Third International Meeting of the International Society for Ecological Economics) en San José de Costa Rica el 28 de octubre de 1994. Quedo agradecido a Cutler J. Cleveland, Robert Cosanza y Olman Segura por la invitación a presentar este documento; a Maureen Garita Matamoros por su asistencia durante la conferencia, a Denver Burns, John Faux, Charles A. S. may, Thomas Hoekstra, Joe Kerkvliet y Daniel Underwood por los comentarios sobre el plenario y a Richard Periman y Carol Raish por revisar esta versión.

NOTAS

1. En ciertas publicaciones de las ciencias físicas, que se afanan por una definición, tan objetiva como sea posible, se considera que la complejidad de un sistema puede ser la longitud de una descripción de sus regularidades (Gell-Mann 1992, 1994). Esto es compatible con la definición que aquí se emplea. Una sociedad con menos partes, menos partes diferenciadas y menos sistemas integrados o más simples, desde luego se puede describir de forma más sucinta que lo que se puede con una sociedad más compleja (Tainter 1995b).
2. El colapso es una rápida transformación a un menor grado de complejidad, que generalmente implica un menor consumo de energía (Tainter 1988)
3. Esto es parte del proceso responsable de los actuales movimientos separatistas en los EE.UU.
4. No he considerado las denominadas alternativas “verdes” en este análisis. Hay dos razones por las que éstas parecen impracticables en el corto plazo. En primer lugar, las economías industriales están estrechamente ligadas a la producción de sistemas y de recursos básicos, incluyendo la energía convencional. (Hall et al. 1992; Watt 1992). Los costes de capital de esta gigantesca conversión industrial podría ser muy altos. En segundo lugar, la experiencia desde 1973 indica que la mayor parte de los miembros de las sociedades industriales no cambiarán sus patrones de consumo simplemente por proyecciones abstractas de los suministros de energía o de otros recursos a largo plazo. Sólo lo harán cuando los precios de la energía y de los bienes y servicios que de ella dependen aumenten de forma acusada durante un largo periodo de tiempo. Convencer a la gente de que el mundo al que han estado acostumbrados ha cambiado de forma irrevocable, supone esfuerzos prolongados. Penalidades menores o episódicas sólo permiten a los líderes explotar el descontento popular para su provecho personal. El crecimiento económico se ha mitificado como parte de nuestra ideología, lo que hace particularmente difícil discutir objetivamente en el ámbito público (Giarini y Louberge 1978)

5. El carbón no fue, desde luego, el único elemento que promovió la industrialización. Otros factores fueron los suministros menguantes de combustible de madera (Wilkinson 1973), los cambios en el uso de la tierra y la disponibilidad de los trabajadores que se podían emplear en la fabricación

REFERENCIAS

- Allen, T. F. H. and T. W. Hoekstra. 1992. *Toward a Unified Ecology*. New York: Columbia University Press.
- Asch, N. B., R. I. Ford, and D. L. Asch. 1972. Paleoethnobotany of the Koster site: The Archaic horizons. *Illinois State Museum Reports of Investigations* 24. Illinois Valley Archeological Program, Research Papers 6.
- Boserup, E. 1965. *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change Under Population Pressure*. Chicago: Aldine.
- Carneiro, R. L. 1978. Political expansion as an expression of the principle of competitive exclusion. In *Origins of the State: the Anthropology of Political Evolution*, eds. Ronald Cohen and Elman R. Service. Philadelphia: Institute for the Study of Human Issues.
- Clark, C and M. Haswell. 1966. *The Economics of Subsistence Agriculture*. London: MacMillan.
- Cohen, M. N. 1977. *The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture*. New Haven: Yale University Press.
- Gell-Mann, M. 1992. Complexity and complex adaptive systems. In *The Evolution of Human Languages*, eds. J. A. Hawkins and M. Gell-Mann, pp. 3-18. Santa Fe Institute. *Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Volume X1*. Reading: Addison-Wesley.
- Gell-Mann, M. 1994. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York: W. H. Freeman.
- Giarini, O. ed. 1984. *Cycles, Value and Employment: Responses to the Economic Crisis*. Oxford: Pergamon.
- Giarini, O. and H. Louberge. 1978. *The Diminishing Returns of Technology: An Essay on the Crisis in Economic Growth*. Oxford: Pergamon.
- Griliches, Z. 1984. Introduction. In *Research and Development, Patents, and Productivity*, ed. Zvi Griliches, pp. 1- 19. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Hall, Charles A. S., C. J. Cleveland, and R. Kaufmann. 1992. *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*. Niwot: University Press of Colorado.
- Jones, A. H. M. 1964. *The Later Roman Empire 284-602: A Social, Economic and Administrative Survey*. Norman: University of Oklahoma Press.
- Jones, A. H. M. 1974. *The Roman Economy: Studies in Ancient Economic and Administrative History*. Oxford: Basil Blackwell.
- Machlup, Fritz. 1962. *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*. Princeton: Princeton University Press.
- McGuire, R. H. 1983. Breaking down cultural complexity: inequality and heterogeneity. In *Advances in Archaeological Method and Theory*, Volume 6, ed. Michael B. Schiffer, pp. 91-142. New York: Academic Press.
- Meadows, D., H. Dennis, L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens 111. 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.

- Minnis, P. E. 1995. Notes on economic uncertainty and human behavior in the prehistoric North American southwest. In *Evolving Complexity and Environmental Risk in the Prehistoric Southwest*, eds. J. A. Tainter and B. B. Tainter, pp. 57-78. Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Volume XXIV. Reading: Addison Wesley.
- Nelson, M. C. 1995. Technological strategies responsive to subsistence stress. In *Evolving Complexity and Environmental Risk in the Prehistoric Southwest*, eds. J. A. Tainter and B. B. Tainter, pp. 107-144. Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Volume XXIV. Reading: Addison-Wesley.
- Norgaard, R. B. 1994. *Development Betrayed: The End of Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future*. London and New York: Routledge.
- Olson, M. 1982. *The Rise and Decline of Nations*. New Haven: Yale University Press.
- Parker, G. 1988. *The Military Revolution: Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Price, Derek de Solla. 1963. *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.
- Rescher, N. 1978. *Scientific Progress: a Philosophical Essay on the Economics of Research in Natural Science*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Rescher, N. 1980. *Unpopular Essays on Technological Progress*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Rostow, W. W. 1980. *Why the Poor Get Richer and the Rich Slow Down*. Austin: University of Texas Press.
- Schmookler, J. 1966. *Invention and Economic Growth*. Cambridge: Harvard University Press.
- Steward, J. H. 1955. *Theory of Culture Change*. Urbana: University of Illinois Press.
- Tainter, J. A. 1988. *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tainter, J. A. 1992. Evolutionary consequences of war. In *Effects of War on Society*, ed. G. Ausenda, pp. 103-130. San Marino: Center for Interdisciplinary Research on Social Stress.
- Tainter, J. A. 1994a. Southwestern contributions to the understanding of core-periphery relations. In *Understanding Complexity in the Prehistoric Southwest*, eds. G. J. Gumerman, and M. Gell-Mann, pp. 25-36. Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Volume XVI. Reading: Addison-Wesley.
- Tainter, Joseph A. 1994b. La fine dell'amministrazione centrale: il collasso dell'Impero romano in Occidente. In *Storia d'Europa, Volume Secondo: Preistoria e Antichità*, eds. Jean Guilaine and Salvatore Settis, pp. 1207-1255. Turin: Einaudi.
- Tainter, J. A. 1995a. Sustainability of complex societies. *Futures* 27: 397-407.
- Tainter, J. A. 1995b. Introduction: prehistoric societies as evolving complex systems. In: *Evolving Complexity and Environmental Risk in the Prehistoric Southwest*, eds. J. A. Tainter and B. B. Tainter. pp 1-23 Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Volume XXIV. Reading: Addison-Wesley.
- U.S. Bureau of the Census. 1983. *Statistical Abstract of the United States: 1984* 104d Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

- Watt, K. E. E. 1992. Taming the Future: A Revolutionary Breakthrough in Scientific Forecasting. Davis: Contextured Webb Press.
- White, L. A. 1949. The Science of Culture. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- White, L. A. 1959. The Evolution of Culture. New York: McGraw-Hill.
- Wickham, C. 1984. The other transition: From the ancient world to feudalism. *Past and Present* 103: 3-36.
- Wilkinson, R. G. 1973. Poverty and Progress: An Ecological Model of Economic Development. London: Methuen.
- Wolfe, D. 1960. How much research for a dollar'? *Science* 132: 517.
- Worthington, N. L. 1975. National health expenditures, 1929-1974. *Social Security Bulletin* 38(2): 3-20.
-